

(19)



Europäisches Patentamt  
European Patent Office  
Office européen des brevets



(11)

**EP 0 829 548 A2**

(12)

**EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:  
18.03.1998 Patentblatt 1998/12

(51) Int Cl.<sup>6</sup>: C21D 11/00, C21D 9/573,  
C21D 1/84, G05B 17/00

(21) Anmeldenummer: 97250263.7

(22) Anmeldetag: 10.09.1997

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
AT BE CH DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU MC  
NL PT SE  
Benannte Erstreckungsstaaten:  
AL LT LV RO SI

- Tischner, Christoph, Dipl.-Ing.  
40878 Ratingen (DE)
- Plociennik, Christian, Dipl.-Ing.  
40885 Ratingen (DE)
- Dehmel, Roman, Dr.-Ing.  
41515 Grevenbroich (DE)

(30) Priorität: 16.09.1996 DE 19639062

(71) Anmelder: MANNESMANN Aktiengesellschaft  
40213 Düsseldorf (DE)

(74) Vertreter: Presting, Hans-Joachim, Dipl.-Ing. et al  
Meissner & Meissner  
Patentanwaltsbüro  
Hohenzollerndamm 89  
14199 Berlin (DE)

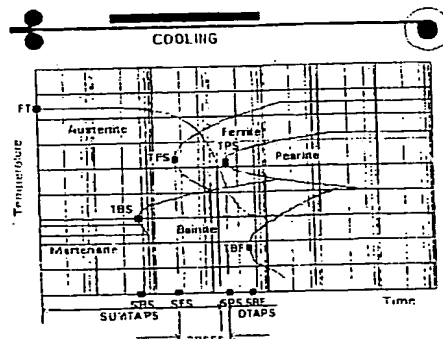
(72) Erfinder:  
• Elfmak, Jiri, Prof. Dr. Sc.  
70800 Ostrava-Poruba (CZ)

(54) **Modellgestütztes Verfahren zur kontrollierten Kühlung von Warmband oder Grobblech in einem rechnergeführten Walz- und Kühlprozess**

(57) Die Erfindung betrifft ein modellgestütztes Verfahren zur kontrollierten Kühlung in gesteuerten Walz- und Kühlprozessen von Warmband oder Grobblech, das nach gesteuertem Walzen in Temperaturbereichen, in denen keine Rekristallisation stattfindet und in denen das Gefüge aus verfestigtem Austenit besteht, kontrolliert nach einer festgelegten Kühlkurve gekühlt wird, indem es mit einer definierten Geschwindigkeit durch die Kühlanlage transportiert wird.

Erfindungsgemäß ist ein metallphysikalisches Prozeßmodell, das ein Werkstoffmodul zur Berechnung von Zeit-Temperatur-Umwandlungs-Diagrammen (ZTU-Diagrammen) in Abhängigkeit der chemischen Zusam-

ensetzung und der Umform- und Kühlparameter enthält und das sowohl die Setup-Berechnung zur Ermittlung der erforderlichen Wassermenge und Verteilung innerhalb der Kühlstrecke durchführt, wie auch den dynamischen Führungsgrößenverlauf ermittelt, wobei die Kühlung derart gesteuert wird, daß die Kühlkurve im berechneten Zeit-Temperatur-Umwandlungs-Diagramm des zu kühlenden Werkstoffes so zwischen den Nasenpunkten der Ferrit- bzw. Perlitumwandlungskurve verläuft, daß sich als Kühlergebnis ein ferritisch-bainitisches Gefüge mit dem jeweils vorab berechneten Verhältnis zwischen diesen beiden Gefügekomponenten im Stahl bildet.



DPSFS = SPS - SFS  
DTAPS = SPS - SUMTAPS  
FT = Endwalztemperatur  
SBS = Zeit für den Start der Bainitbildung  
SFS = Zeit für den Start der Ferritbildung  
SPS = Zeit für den Start der Perlitbildung  
SUMTAPS = Abkühlzeit von FT auf TPS  
TBS = Temperatur für den Start der Bainitbildung  
TFS = Temperatur für den Start der Ferritbildung  
TPS = Temperatur für den Start der Perlitbildung

**EP 0 829 548 A2**

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein modellgestütztes Verfahren zur kontrollierten Kühlung in gesteuerten Walz- und Kühlprozessen von Warmband oder Grobblech, das nach gesteuertem Walzen in Temperaturbereichen, in denen keine Rekristallisation stattfindet und in denen das Gefüge aus verfestigtem Austenit besteht, kontrolliert nach einer festgelegten Kühlkurve gekühlt wird, indem es mit einer definierten Geschwindigkeit durch die Kühlanlage transportiert wird.

Ziel der Erfindung ist es, bei Veränderungen der Endwalztemperatur FT und der Geschwindigkeit R das gleiche Verhältnis der Gefügephasen wie unter konstanten Prozeßbedingungen mit Hilfe eines metallphysikalischen Prozeßmodells zu gewährleisten.

Dieses Ziel wird erfindungsgemäß durch ein metallphysikalisches Prozeßmodell erreicht, das ein Werkstoffmodul zur Berechnung von Zeit-Temperatur-Umwandlungs-Diagrammen (ZTU-Diagrammen) in Abhängigkeit der chemischen Zusammensetzung und der Umform- und Kühlparameter enthält und das sowohl die Setup-Berechnung zur Ermittlung der erforderlichen Wassermenge und Verteilung innerhalb der Kühlstrecke durchführt, wie auch den dynamischen Führungsgrößenverlauf ermittelt, wobei die Kühlung derart gesteuert wird, daß die Kühlkurve im berechneten Zeit-Temperatur-Umwandlungs-Diagramm des zu kühlenden Werkstoffes so zwischen den Nasenpunkten Ferrit- bzw. Perlitumwandlungskurve verläuft, daß sich als Kühlresultat ein ferritisch-bainitisches Gefüge mit dem jeweils vorab berechneten Verhältnis zwischen diesen beiden Gefügekomponenten im Stahl bildet.

Den wesentlichen Baustein des erfindungsgemäßen Verfahrens bildet das metallphysikalische Prozeßmodell, das eine metallkundliche Kontrolle der Abkühlrichtungen und eine Verbesserung der Regelung und Steuerung zum Einhalten der geforderten Werkstoffeigenschaften über die Bandlänge ermöglicht.

Erfindungsgemäß wird weiter vorgeschlagen, daß die Position der Kühlkurve bei der Temperatur, bei der die Bildung von Perlit einsetzt (Perlitnase der entsprechenden Kurve) definiert wird durch ein Verhältnis XTAPS zwischen einerseits der Differenz des Zeitlogarithmus, der für die Entstehung von Perlit benötigt wird und dem Zeitlogarithmus, der für die Kühlung des Walzgutes von der Endwalztemperatur auf die Temperatur, bei der die Bildung von Perlit einsetzt (Nasenpunkt) und andererseits der Differenz des Zeitlogarithmus, der für den Beginn der Perlitumwandlung (Nasenpunkt) benötigt wird, und dem Zeitlogarithmus, der für den Beginn der Ferritumwandlung (Nasenpunkt) benötigt wird, wobei dieses Verhältnis XTAPS ist kleiner als 1 und größer als 0 ist.

Die optimale Qualität der mikrolegierten Stähle ist davon abhängig, daß ein sehr feinkörniges Sekundärgefüge bei der Umwandlung des nicht oder nur teilrekristallisierten Austenits innerhalb der Kühlstrecke ent-

steht, das günstige Eigenschaftskombinationen aufweist. Optimale Werte dieser Verfestigung des Austenits ergeben sich durch 70-80 % Reduktion bei niedrigen Temperaturen (unter 900 °C). Wesentlich dabei ist, daß dieser Verfestigungszustand des umgeformten und verfestigten Austenits bis zur Gamma/Alpha - Umwandlung erhalten bleibt. Die Aufrechterhaltung dieser Verfestigung bis zur Umwandlung ist von den Bedingungen der Ausscheidung der Mikrolegierungselemente und der dadurch verursachten Verzögerung der Rekristallisation abhängig. Neben der Verfestigung der feinen, austenitischen Körner ist es notwendig, für eine gezielte Kühlung zu sorgen, damit das resultierende Gefüge nach der Umwandlung zum überwiegenden Teil aus Ferrit und Bainit besteht. Perlitische Strukturen sind unerwünscht.

Weitere Merkmale der Erfindung sind in den Unteransprüchen angegeben.

Die Erfindung wird nachfolgend anhand des in der einzigen Zeichnungsfigur dargestellten, berechneten ZTU-Diagramms eines mikrolegierten Stahles bei der kontrollierten Kühlung erläutert.

Die Eigenschaften von gewalztem Stahl werden im wesentlichen durch die Abkühlrate im Temperaturbereich zwischen 800 und 500°C beeinflusst. Die Abkühlrate CR (K/s) beeinflusst die Größe des ferritischen Korns und damit die Elastizitätsgrenze. Um eine ausreichende Abkühlrate des Walzgutes zu erreichen und die  $\gamma/\alpha$ -Umwandlung im Stahl durchzuführen, wird das Walzgut mit der Endwalztemperatur FT nach Verlassen des letzten Walzgerüsts mit einer Wasserkühlung gekühlt. Die Kühlintensität hängt ab von der aktiven Kühlstreckenlänge L (m) und der Geschwindigkeit R (m/s) des Walzgutes im Bereich der Kühlung. Bezeichnet man die Zeit der Nase der Ferritbildung als SFS, die Zeit der Nase der Perlitbildung als SPS und die Abkühlzeit des Bandes von FT auf die Temperatur der Nase der Perlitbildung TPS als SUMTAPS (s. Bild), ergibt sich als Differenz zwischen dem Zeitpunkt SPS, bei dem die Perlitbildung einsetzt, und der Abkühlzeit SUMTAPS:

$$\ln(DTAPS) = \ln(SPS) - \ln(SUMTAPS)$$

Analog dazu lautet die Differenz zwischen den Zeitpunkten für die Ferrit- und Perlitbildung

$$\ln(DPSFS) = \ln(SPS) - \ln(SFS)$$

Die Position der Kühlkurve zwischen den Zeitpunkten für die Ferrit- und Perlitbildung wird durch den Wert XTAPS charakterisiert:

$$XTAPS = \ln(DTAPS)/\ln(DPSFS)$$

Um eine rein ferritisch-bainitische Struktur zu erhalten

ten, muß XTAPS kleiner als 1 und größer als 0 sein.

Die oben beschriebenen Prozeßbedingungen für die Kühlung beziehen sich auf statische Bedingungen. Im tatsächlichen Walzprozeß ist es jedoch nicht möglich, Abweichungen in den Umformparametern völlig zu vermeiden, insbesondere nicht was die Endwalztemperatur FT und die Geschwindigkeit R betrifft.

Eine erhöhte Endwalztemperatur führt zu einer Abnahme der Verfestigung des Austenits, wodurch gleichzeitig die Zeitpunkte für die Bildung von Ferrit (SFS) bzw. Perlit (SPS) verändert werden. Blieben die voreingestellten Kühlbedingungen aus dem Modell unverändert, würden die geänderten Fertigwalzbedingungen eine Änderung des Wertes von XTAPS bewirken. Das Verhältnis der Gefügephasen von Ferrit und Bainit würde sich ändern, wodurch sich auch die erwarteten Eigenschaften des Bandes ändern würden.

Das Ziel der Erfindung, bei Veränderungen der Endwalztemperatur FT und der Geschwindigkeit R das gleiche Verhältnis der Gefügephasen wie unter konstanten Prozeßbedingungen zu gewährleisten, wird durch das metallphysikalische Prozeßmodell mit dem enthaltenen Werkstoffmodul zur Berechnung von Zeit-Temperatur-Umwandlungs-Diagrammen (ZTU-Diagrammen) in Abhängigkeit der chemischen Zusammensetzung und der Umform- und Kühlparameter erreicht.

Die Kühlanlage wird von einem Computer gesteuert, der u.a. darauf programmiert ist, neue Zeiten für die Bildung von Ferrit und Perlit in Bezug auf die jeweils gemessenen Werte für die Endwalztemperatur FT und die Geschwindigkeit R des Walzgutes aus dem letzten Gerüst zu berechnen. Für diese neuen Bedingungen berechnet der Computer eine neue Abkühlgeschwindigkeit CR sowie die Länge der aktiven Wasserleitung in der Kühlstrecke.

Beide Werte werden so berechnet, daß bei einer Zunahme oder Abnahme der Endwalztemperatur FT und der Geschwindigkeit R die Kühlgeschwindigkeit CR variiert wird. Ändert sich die Endwalztemperatur oder die Geschwindigkeit des Walzgutes, wird die Länge der aktiven Kühlstrecke an ihrem Anfang oder Ende verkürzt oder verlängert, um so die Gesamtkühlzeit an einem die Anlage durchlaufenden Walzgutquerschnitt gleich oder kleiner als die Zeit werden zu lassen, die sich aus der vorab berechneten Differenz zwischen der Temperatur im Einlauf und im Auslauf der Kühlanlage dividiert durch die Kühlgeschwindigkeit CR ergibt. Durch die Kombination der beschriebenen Änderungen von Kühlgeschwindigkeit und Länge der aktiven Kühlstrecke erreicht das Verhältnis XTAPS wenn nicht völlig, so zumindest annähernd den vorab berechneten optimalen Wert.

#### Patentansprüche

1. Modellgestütztes Verfahren zur kontrollierten Kühlung in gesteuerten Walz- und Kühlprozessen von

Warmband oder Grobblech, das nach gesteuertem Walzen in Temperaturbereichen, in denen keine Rekristallisation stattfindet und in denen das Gefüge aus verfestigtem Austenit besteht, kontrolliert nach einer festgelegten Kühlkurve gekühlt wird, indem es mit einer definierten Geschwindigkeit durch die Kühlanlage transportiert wird,

gekennzeichnet durch ein metallphysikalisches Prozeßmodell, das ein Werkstoffmodul zur Berechnung von Zeit-Temperatur-Umwandlungs-Diagrammen (ZTU-Diagrammen) in Abhängigkeit der chemischen Zusammensetzung und der Umform- und Kühlparameter enthält und das sowohl die Setup-Berechnung zur Ermittlung der erforderlichen Wassermenge und Verteilung innerhalb der Kühlstrecke durchführt, wie auch den dynamischen Führungsgrößenverlauf ermittelt, wobei die Kühlung derart gesteuert wird, daß die Kühlkurve im berechneten Zeit-Temperatur-Umwandlungs-Diagramm des zu kühlenden Werkstoffes so zwischen den Nasenpunkten der Ferrit- bzw. Perlitumwandlungskurve verläuft, daß sich als Kühlergebnis ein ferritisch-bainitisches Gefüge mit dem jeweils vorab berechneten Verhältnis zwischen diesen beiden Gefügekomponenten im Stahl bildet.

2. Modellgestütztes Verfahren zur kontrollierten Kühlung in gesteuerten Walz- und Kühlprozessen von Warmband oder Grobblech nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Position der Kühlkurve bei der Temperatur, bei der die Bildung von Perlit einsetzt (Perlitnase der entsprechenden Kurve), definiert wird durch ein Verhältnis XTAPS zwischen einerseits der Differenz des Zeitlogarithmus, der für die Entstehung von Perlit benötigt wird und dem Zeitlogarithmus, der für die Kühlung des Walzgutes von der Endwalztemperatur auf die Temperatur, bei der die Bildung von Perlit einsetzt (Nasenpunkt) und andererseits der Differenz des Zeitlogarithmus, der für den Beginn der Perlitumwandlung (Nasenpunkt) benötigt wird, und dem Zeitlogarithmus, der für den Beginn der Ferritumwandlung (Nasenpunkt) benötigt wird, wobei dieses Verhältnis XTAPS kleiner als 1 und größer als 0 ist.
3. Modellgestütztes Verfahren zur kontrollierten Kühlung in gesteuerten Walz- und Kühlprozessen von Warmband oder Grobblech nach Anspruch 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Kühlgeschwindigkeit in der Kühlanlage bei jeder Erhöhung bzw. Erniedrigung der Endwalztemperatur geändert wird, sofern der voreingestellte Wert der Endwalztemperatur nicht konstant bleibt.
4. Modellgestütztes Verfahren zur kontrollierten Kühlung in gesteuerten Walz- und Kühlprozessen von

Warmband oder Grobblech nach Anspruch 1 bis 3,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß die Kühlgeschwindigkeit in der Kühlanlage bei  
jeder Zu- bzw. Abnahme der Geschwindigkeit des  
Walzgutes geändert wird, sofern die tatsächliche 5  
Geschwindigkeit des Walzgutes am Auslauf des  
letzten Gerüsts von dem voreingestellten Wert ab-  
weicht.

5. Modellgestütztes Verfahren zur kontrollierten Küh- 10  
lung in gesteuerten Walz- und Kühlprozessen von  
Warmband oder Grobblech nach einem der An-  
sprüche 1 bis 4,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß die aktive Gesamtlänge der Kühlstrecke durch 15  
Ab- bzw. Hinzuschalten von Kühleinheiten im vor-  
deren oder hinteren Bereich verkürzt oder verlän-  
gert wird, um die Kühlzeit eines die Anlage durch-  
laufenden Walzgutquerschnittes gleich oder kleiner  
als die Zeit werden zu lassen, die sich aus der vor- 20  
ausberechneten Differenz zwischen der Tempera-  
tur im Einlauf und im Auslauf der Kühlstrecke divi-  
diert durch die Kühlgeschwindigkeit CR ergibt.

25

30

35

40

45

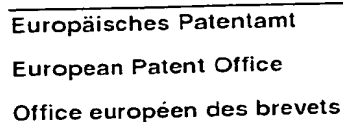
50

55



DPSFS = SPS - SFS  
DTAPS = SPS - SUMTAPS  
FT = Endwalztemperatur  
SBS = Zeit für den Start der  
Bainitbildung  
SFS = Zeit für den Start der  
Ferritbildung  
SPS = Zeit für den Start der  
Perlitbildung  
SUMTAPS = Abkühlzeit von  
FT auf TPS  
TBS = Temperatur für den  
Start der Bainitbildung  
TFS = Temperatur für den  
Start der Ferritbildung  
TPS = Temperatur für den  
Start der Perlitbildung

**This Page Blank (uspto)**



(11)

**EP 0 829 548 A3**

(12)

**EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(88) Veröffentlichungstag A3: 05.08.1998 Patentblatt 1998/32

(51) Int Cl.<sup>6</sup>: **C21D 11/00**, C21D 9/573,  
C21D 1/84, G05B 17/00

(43) Veröffentlichungstag A2:  
18.03.1998 Patentblatt 1998/12

(21) Anmeldenummer: 97250263.7

(22) Anmeldetag: 10.09.1997

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
AT BE CH DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU MC  
NL PT SE  
Benannte Erstreckungsstaaten:  
AL LT LV RO SI

- Tischner, Christoph, Dipl.-Ing.  
40878 Ratingen (DE)
- Plociennik, Christian, Dipl.-Ing.  
40885 Ratingen (DE)
- Dehmel, Roman, Dr.-Ing.  
41515 Grevenbroich (DE)

(30) Priorität: 16.09.1996 DE 19639062

(71) Anmelder: **MANNESMANN Aktiengesellschaft**  
**40213 Düsseldorf (DE)**

(72) Erfinder:  
• Elfmak, Jiri, Prof. Dr. Sc.  
70800 Ostrava-Poruba (CZ)

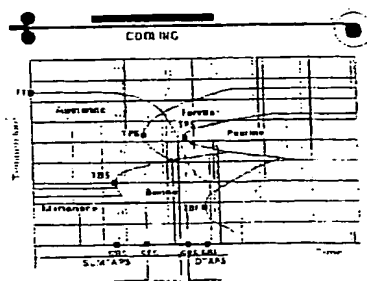
(74) Vertreter: **Presting, Hans-Joachim, Dipl.-Ing. et al**  
**Meissner & Meissner**  
**Patentanwaltsbüro**  
**Hohenzollerndamm 89**  
**14199 Berlin (DE)**

(54) Modellgestütztes Verfahren zur kontrollierten Kühlung von Warmband oder Grobblech in einem rechnergeführten Walz- und Kühlprozess

(57) Die Erfindung betrifft ein modellgestütztes Verfahren zur kontrollierten Kühlung in gesteuerten Walz- und Kühlprozessen von Warmband oder Grobblech, das nach gesteuertem Walzen in Temperaturbereichen, in denen keine Rekristallisation stattfindet und in denen das Gefüge aus verfestigtem Austenit besteht, kontrolliert nach einer festgelegten Kühlkurve gekühlt wird, indem es mit einer definierten Geschwindigkeit durch die Kühlanlage transportiert wird.

Erfindungsgemäß ist ein metallphysikalisches Prozessmodell, das ein Werkstoffmodul zur Berechnung von Zeit-Temperatur-Umwandlungs-Diagrammen (ZTU-Diagrammen) in Abhängigkeit der chemischen Zusam-

mensetzung und der Umform- und Kühlparameter enthält und das sowohl die Setup-Berechnung zur Ermittlung der erforderlichen Wassermenge und Verteilung innerhalb der Kühlstrecke durchführt, wie auch den dynamischen Führungsgrößenverlauf ermittelt, wobei die Kühlung derart gesteuert wird, daß die Kühlkurve im berechneten Zeit-Temperatur-Umwandlungs-Diagramm des zu kühlenden Werkstoffes so zwischen den Nasenpunkten der Ferrit- bzw. Perlitumwandlungskurve verläuft, daß sich als Kühlergebnis ein ferritisch-bainitisches Gefüge mit dem jeweils vorab berechneten Verhältnis zwischen diesen beiden Gefügekomponenten im Stahl bildet.



$DPSS = SPS - SFS$   
 $DTAPS = SPS - SUMTAPS$   
 $FT =$  Erwärmtemperatur  
 $SBS =$  Zeit für den Start der  
 Benützung  
 $SFS =$  Zeit für den Start der  
 Fehrladung  
 $SPS =$  Zeit für den Start der  
 Fehlbildung  
 $SUMTAPS =$  Aktivzeit von  
 $FT$  auf  $TPS$   
 $TBS =$  Temperatur für den  
 Start der Benützung  
 $TFS =$  Temperatur für den  
 Start der Fehrladung  
 $TPS =$  Temperatur für den  
 Start der Fehlbildung

**EP 0 829 548 A3**



Europäisches  
Patentamt

# EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung  
EP 97 25 0263

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int.Cl.6)
X	LEITHOLF M D ET AL: "MODEL REFERENCE CONTROL OF RUNOUT TABLE COOLING AT LTV" IRON AND STEEL ENGINEER, Bd. 66, Nr. 8, 1. August 1989, Seiten 31-35, XP000069320 * das ganze Dokument *	1-5	C21D11/00 C21D9/573 C21D1/84 G05B17/00
X	EP 0 178 378 A (KAWASAKI STEEL CO) 23. April 1986 * Ansprüche 1-4, 8 *	1-5	
X	EP 0 453 566 A (KAWASAKI STEEL CO) 30. Oktober 1991 * Ansprüche 1-8 *	1-5	
A	EP 0 086 265 A (NIPPON STEEL CORP) 24. August 1983 * Anspruch 1 *	3-5	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int.Cl.6)
			C21D G05B
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort BERLIN		Abchlußdatum der Recherche 17. Juni 1998	Prüfer Kesten, W
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument			

EPO FORM 1503 03.92 [P04C03]